

# Fallas y despegues extensionales en el Subbético Central: implicaciones en la evolución Neógena de las Zonas Externas de La Cordillera Bética

*Faults and extensional detachments in the Central Subbetic: implications to the Neogene evolution of the External Zones of the Betic Cordillera*

José Miguel Azañón<sup>1,3</sup>, Francisco Javier Roldán<sup>2</sup> y José Rodríguez-Fernández<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, 18071 Granada, España. jazonon@ugr.es

<sup>2</sup> Instituto Geológico y Minero de España, Urbanización Alcázar del Genil 4, 18006 Granada, España. fj.rolدان@igme.es

<sup>3</sup> Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (UGR-CSIC), 18002 Granada, España. jrodrig@ugr.es

## ABSTRACT

The External Zones of the Betic Cordillera are affected by extensional ductile-brittle deformation after the NW verging compressive phase. The preferred direction of extension is between WSW and WNW. South to the Cazorla Arc, this extensional phase is responsible of the partial destruction of the Serravallian-Lower Tortonian external accretionary prism coevally with the tectonic denudation of the Internal Zones. The rupture of this accretionary prism allows the fragmentation and extensional migration to the W of the Subbetic and Prebetic domains, which was produced by a high rate of displacement.

**Key-words:** Extensional detachments, arc migration, Subbetic extension, tectonic breccia.

## RESUMEN

Las Zonas Externas de la Cordillera Bética están afectadas por una deformación extensional de carácter dúctil-frágil posterior a la estructuración compresiva de vergencia NW. La dirección de extensión está en un rango entre WSW y WNW. Esta extensión es la responsable de la destrucción parcial del prisma acrecional externo, de edad Serravaliense-Tortonense Inferior, al S del Arco de Cazorla, y es coetánea a la denudación tectónica de las Zonas Internas de la Cordillera. La ruptura de este prisma permite la fragmentación y deriva extensional hacia el W de los dominios Subbético y Prebético a altas tasas de desplazamiento.

**Palabras clave:** Despegues extensionales, migración de arco, extensión en el Subbético, brechas tectónicas.

Geogaceta, 52 (2012), 13-16.  
ISSN 2173-6545

Fecha de recepción: 15 de febrero de 2012

Fecha de revisión: 26 de abril de 2012

Fecha de aceptación: 25 de mayo de 2012

## Introducción

La interpretación tectónica de la estructura, cronología y cinemática de los diferentes dominios que constituyen las Zonas Internas (Dominio de Alborán) ha sido objeto de un profundo debate durante los últimos 35 años. Sin embargo, la configuración estructural de las Zonas Externas, mucho más sencilla, parece bien establecida y admitida por la comunidad científica. La estructura de estas Zonas Externas respondería a un dispositivo imbricado de diferentes dominios paleogeográficos superpuestos durante la colisión intracontinental Miocena entre el Dominio Sudibérico y el Dominio de Alborán (e.g. García-Hernández *et al.*, 1980). Se trata de una tectónica "thin skinned" que implica a rocas del Triásico al

Neógeno de la cobertera del paleomargen Suribérico. Durante el Mioceno, estas coberteras fueron despegadas de su basamento Hercínico, i.e. las Mesetas Ibérica y Marroquí (e.g. García-Hernández *et al.*, 1980; Wildi, 1983) y forman actualmente las Zonas del Prebético y Subbético en España y el Rif Externo en Marruecos. Ambos cinturones de pliegues y cabalgamientos lindan con cuencas de antepais, las cuencas del Guadalquivir y del Rharb, al Norte y al Sur del Arco de Gibraltar. Por tanto, la estructura de las Zonas Externas responde a una colisión NNW-SSE que produce un acortamiento moderado (Blankenship, 1992; Crespo-Blanc *et al.*, 2007) y que como ocurre en otras Cordilleras (e.g. Cordillera Cantábrica, Pirineos, Alpes, etc), debería ser fácilmente restituible y/o balance-

able. Sin embargo, existen amplios sectores de las Zonas Externas, en especial el Subbético, en los que la representación cartográfica de estas unidades no refleja una organización compatible con una estructuración en apariencia tan simple. Es remarcable la desconexión entre los afloramientos de rocas subbéticas y la ausencia de continuidad en las trazas axiales de los pliegues y cabalgamientos que permitan establecer una estructura bien definida (Fig. 1). La extrema plasticidad de las rocas evaporíticas, que aparecen frecuentemente a la base de los afloramientos de rocas subbéticas, o la existencia de interferencias entre estructuras compresivas, han sido los argumentos más utilizados para justificar la estructura interna, aparentemente caótica, del Subbético (Vera, 2004; Crespo-Blanc *et al.*, 2007).

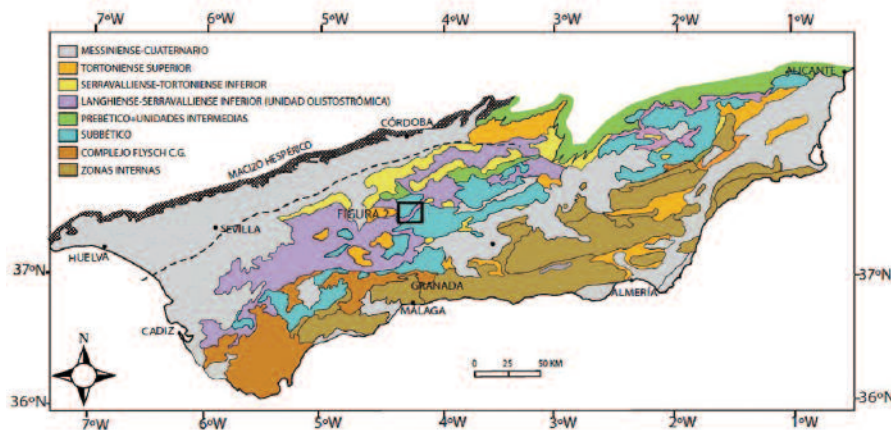


Fig. 1.- Mapa simplificado de la Cordillera Bética en el que se localiza la zona de estudio.

Fig. 1.- Simplified map of the Betic Cordillera with the location of the studied area.

No obstante, algunos autores han puesto de manifiesto la existencia de estructuras extensionales, de carácter local, que producen el adelgazamiento y la fragmentación del Subbético en el sector central (García-Dueñas, 1995; Galindo-Zaldívar *et al.*, 2000; Reicherter y Peter, 2005).

En este trabajo se profundiza en la estructura del Subbético, definiendo una etapa extensional que fragmenta las unidades, produciendo una migración hacia el W (en un rango entre WSW y WNW), coetáneamente a la denudación tectónica sufrida por las Zonas Internas de la Cordillera. Así mismo, se presenta el papel que juega la unidad olistostromática, que debido a su competencia y plasticidad, actúa como un nivel de despegue tectónico tanto en las fases compresivas de construcción del prisma, como en las extensionales de desmantelamiento del mismo.

### La estructura del Subbético y Prebético

En general la estructura de las Zonas Externas se ha interpretado como una cobertera despegada a nivel de materiales de edad triásica, plegada y con una secuencia de cabalgamientos que afecta a las zonas Subbética y Prebética. Estos cabalgamientos tienen vergencia norte generalizada, si bien en determinados sectores meridionales se observan vergencias al sur.

El Prebético se estructura en escamas imbricadas y pliegues vergentes al noroeste que pasan de direcciones E-W a N-S en la curvatura del arco de Cazorla. También hay afloramientos aislados en el ámbito del Subbético sin ser claras las relaciones entre ambos.

La estructura de la Zona Subbética es bastante compleja. Se ha interpretado que en su parte septentrional cabalga a la Zona Prebética y se configura con cabalgamientos con vergencia N y/o NW, así como pliegues de dirección N80°E e igual vergencia. Hacia el límite con las Zonas Internas la deformación de las unidades subbéticas es más intensa y localmente se puede apreciar un cambio de vergencia de pliegues y cabalgamientos.

Sin embargo, en la elaboración del GEODE (Roldán *et al.*, 2012) se ha puesto de manifiesto que hay una falta de continuidad en las estructuras de carácter compresivo (pliegues y cabalgamientos), lo que sugiere una falta de cilindricidad. Por otra parte, son numerosos los afloramientos de sucesiones jurásicas y cretácicas, aflorantes en las sierras, que aparecen completamente aisladas, mostrando una geometría de *klippes* en los que la estructura interna no tiene una correspondencia con la cinemática y el estilo estructural de los despegues. Estos despegues basales están controlados por las características reológicas de las rocas, por lo que es frecuente encontrarlos en margas de edad cretácica, en formaciones pelítico-evaporíticas de edad triásica y en la Unidad Olistostromática.

Estas estructuras son de carácter dúctil-frágil (la deformación dúctil es de baja temperatura y se observa en los niveles yesíferos) y muestran una cinemática de componente W. Los macizos carbonáticos jurásicos y cretácicos presentan un equivalente de esta deformación que se manifiesta como diaclasas de extensión y fallas normales de alto ángulo en las rocas competentes y bandas cataclásticas en las intercalaciones pelíticas y/o margosas. Estas es-

tructuras se superponen a los pliegues mesoscópicos y fallas inversas generados en la fase de compresión NNW previa a la extensión.

### Extensión en el Subbético de las sierras de Cabra y Gaena

En este trabajo se ha seleccionado un área del Subbético situada al E y SE de la localidad de Cabra (sierras de Cabra y Gaena), para mostrar un ejemplo de las estructuras extensionales que afectan a este dominio. Aunque la deformación extensional es penetrativa a todas las escalas, son los niveles más incompetentes los que permiten observar más claramente la cinemática y las características de la fábrica. Las fábricas son fundamentalmente de carácter cataclástico aunque cuando predomina el componente yesífero en las pelitas, pueden llegar a ser milonitas de baja temperatura. Son frecuentes los fragmentos de rocas más competentes que desarrollan formas sigmoidales asimétricas que indican el sentido de transporte. Las cataclasitas poseen una foliación definida (Chester *et al.*, 1985) con formas almendradas delimitadas por "slicensides" estriadas. Estas formas amigdalares están constituidas por estructuras S-C frágiles, desarrolladas a partir de la intersección de planos Riedel tipo Y, R1, y P y que son reconocibles desde una escala milimétrica a una escala métrica. Las direcciones de transporte más comunes son N240-260°E y N300-320°E. En los materiales carbonáticos jurásicos y en las margocalizas cretácicas se pueden reconocer dos juegos de diaclasas de extensión, de dirección NW-SE y NE-SW. Estos sistemas de fracturas son ubicuos y condicionan la geometría amigdalare de los macizos carbonáticos de edad jurásica, que es uno de los rasgos cartográficos más significativos del Subbético (Fig. 2). Los "cuellos" entre los macizos de geometría amigdalare poseen direcciones paralelas a las diaclasas de extensión anteriormente mencionadas. En estas zonas aflora la unidad olistostromática fuertemente tectónica, con una fábrica plano-lineal bien definida y abundantes bandas de cataclasitas foliadas.

### Análisis del régimen de esfuerzos a partir de diaclasas y fallas

Se ha realizado una medida sistemática de las diaclasas de extensión y fallas, que

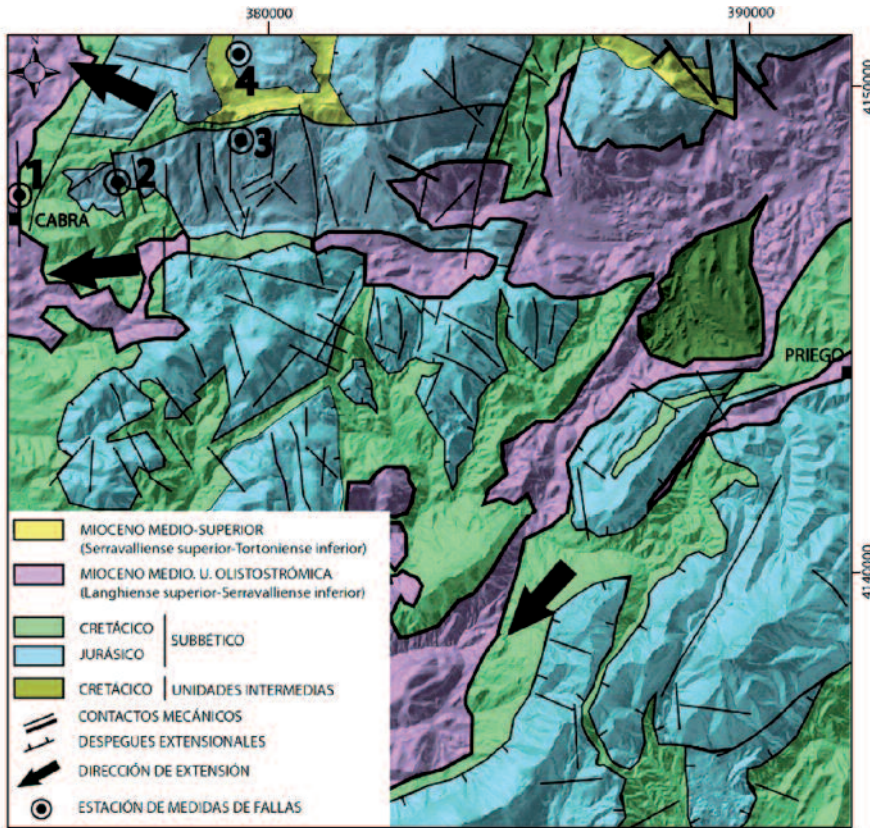


Fig. 2.- Mapa geológico sintético del Subbético de las Sierras de Cabra y Gaena.

Fig. 2.- Synthetic geologic map of the Subbetic domain outcropping in the Sierras de Cabra and Gaena.

afectan a las unidades subbéticas aflorantes en la Sierra de Cabra, para realizar un análisis del régimen de esfuerzos dominantes durante la generación de estas estructuras. Los diagramas han sido calculados con el software T-TECTO 3.0 (Žalohar y Vrabc, 2007), usando la función visualizada de Gauss (VGF) a través de un complicado procedimiento que permite analizar conjuntamente fracturas, diaclasas y planos de falla (no se han observado planos de falla con más de una estría). El programa permite introducir tres tipos de fracturas: fracturas y venas de extensión, estilolitos y fracturas de cizalla. Se ha seleccionado un stereoplot que permite visualizar las áreas de máxima probabilidad para los esfuerzos principales. Los colores azules indican los campos en los que se insertaría  $\sigma_3$  mientras que los colores rojos indican los campos en los que se insertaría  $\sigma_1$ . Los puntos (en color amarillo) representan la posición más probable de  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  con los datos introducidos.

En el área de estudio se han realizado 4 estaciones de medida (Figs. 2 y 3). En las cuatro estaciones se aprecia que la posición de  $\sigma_1$  está próxima a la verticalidad, indicando una situación de esfuerzos clara-

mente extensional, con una razón axial baja. En las estaciones 1, 2 y 3,  $\sigma_3$  es prácticamente horizontal e indica una dirección de extensión entre N240E y N260E y razones axiales variables. En la estación 3, la posición más probable de  $\sigma_3$  es casi horizontal y con una dirección N320E, prácticamente perpendicular al de las otras tres estaciones.

Las fallas que se muestran en la figura 4 son de carácter normal y producen una extensión hacia el WSW, desmembrando el conjunto de unidades imbricadas producidas en la fase de cabalgamiento previa. La distribución meso y macroscópica de los macizos rocosos subbéticos, también es compatible con una extensión dominante hacia el WSW y subsidiaria al WNW.

### Discusión y Conclusiones

La estructuración, mediante un dispositivo imbricado de vergencia NW, de las unidades más externas (Prebético) de la Cordillera Bética como consecuencia de la colisión entre el Dominio de Alborán y el Dominio Sudibérico es uno de los procesos mejor establecidos de la rama norte de este

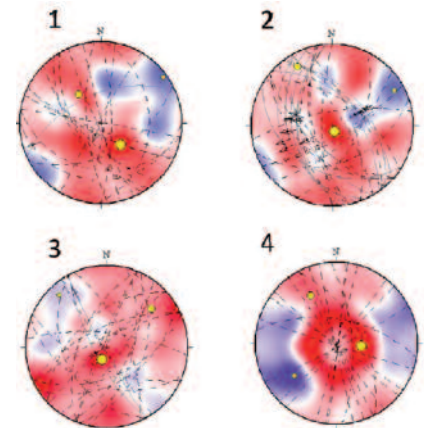


Fig. 3.- Análisis del régimen de esfuerzos a partir de datos de diaclasas de extensión y fallas normales. Los campos en color rojo muestran las zonas más probables de  $\sigma_1$  y los campos en color azul muestran las zonas más probables de  $\sigma_3$ .

Fig. 3.- Stress regime analysis calculated from extensional joints and normal faults. Red and blue coloured areas are respectively the most probable position of the  $\sigma_1$  and  $\sigma_3$ .

orógeno. También es un hecho generalmente admitido que el Prebético constituye el paleomargen del dominio Sudibérico. Sin embargo, el origen y la posición paleogeográfica del Subbético es actualmente objeto de debate. Las interpretaciones clásicas, proponen una continuidad paleogeográfica entre el Prebético y el Subbético, constituyendo este último los dominios más pelágicos del paleomargen sudibérico. No obstante, un dato evidente es que el Subbético aparece despegado de su basamento y posicionado estructuralmente sobre el Prebético.

En este trabajo se describe una fase extensional, probablemente diacrónica a lo largo de las Zonas Externas de la Cordillera, pero que en el área de estudio es claramente posterior a la estructuración compresiva de vergencia NW. La extensión, con características dúctiles-frágiles (dúctil de baja temperatura), produce el desmembramiento y la fragmentación de los edificios de cabalgamientos en el Dominio Subbético y también en el Prebético. La dirección preferente de extensión está en el rango WNW-WSW. Las formaciones menos competentes, margas y pelitas yesíferas, concentran las rocas cataclásticas con abundantes estructuras S-C, almendras y estrías que reflejan el importante estiramiento de componente W que se produce en estas bandas. En los macizos carbonáticos, más competentes, se observan varios juegos de diaclasas de exten-

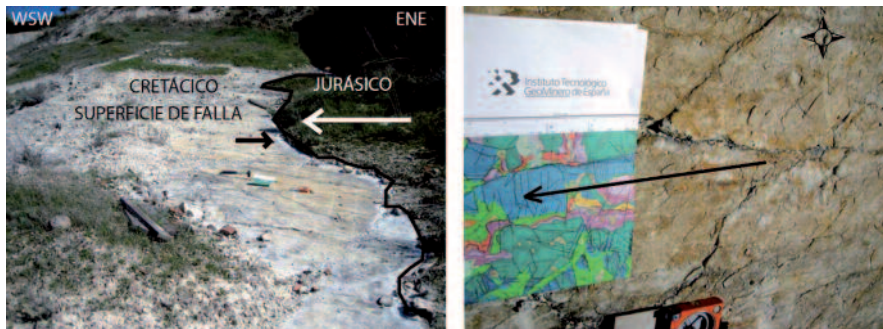


Fig. 4.- A: Plano de falla extensional de bajo ángulo que afecta a niveles de margocalizas cretácicas previamente cabalgadas por calizas jurásicas. B: Detalle del plano de falla en el que se aprecian las estrías y los dos juegos de diaclasas extensionales.

Fig. 4.- A: Low-angle extensional fault affecting Cretacic marlstone previously thrust by Jurassic limestone. B: Detail of the striae and extensional joints on the fault plane.

sión que manifiestan una deformación frágil, compatible con la dúctil-frágil de baja temperatura anteriormente mencionada.

La Unidad Olistostrómica (Langhiense-Serravaliense inferior, Roldán, 1995) tiene unas características reológicas que han permitido que los despegues extensionales se concentren en ella, deformándola y destruyendo parcialmente su fábrica original. Por tanto, la extensión que aquí se define es post-Serravaliense inferior. Por otra parte, los sedimentos del Tortoniense superior, que afloran al W del área de estudio, fosilizan los despegues extensionales en este meridiano. Por tanto, la deformación extensional del Subbético, en este sector de la Cordillera, se produce entre el Serravaliense Inferior y el Tortoniense superior. Esta constricción cronológica implica que el Subbético se extiende a la vez y en la misma dirección que lo están haciendo las Zonas Internas de la Cordillera.

Estos procesos son coetáneos con la migración, hacia el W, del proto-Arco de Gibraltar y podría expresar una extensión paralela a las directrices estructurales dominantes. Por tanto, si tomamos la posición

del Arco de Cazorla como referencia, y asumimos que su "destrucción parcial" se produce en el Tortoniense inferior (aprox. 10 Ma), estas unidades habrían avanzado al menos 75 Km hacia el W durante el Tortoniense (en unos 3 M.a si se toma una edad de 7 Ma para el límite Tortoniense Superior-Messiniense). Estas importantes tasas de migración son compatibles con las tasas de desplazamiento de dirección WSW, propuestas para la denudación extensional que exhuma el Complejo Nevado-Filábride entre 12 y 8 Ma (Booth-Rea *et al.*, 2007). Para ambos casos, las tasas de migración inferidas son muy superiores a las de aproximación entre África y Europa, durante el Tortoniense, por lo que parece difícil aceptar que el desplazamiento hacia el W del Arco de Gibraltar es una consecuencia subsidiaria, y producida por escape tectónico, de esta compresión NNW-SSE.

#### Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado con los proyectos de investigación CGL-2011-29920 y TO-POIBERIA-CONSOLIDER INGENIO 2010 del Mi-

nisterio de Ciencia e Innovación. Agradecemos los comentarios de Jesús Galindo Zaldívar y Juan Carlos Balanyá Roure, como revisores de este trabajo, que han contribuido a mejorar la calidad del mismo.

#### Referencias

- Blankenship, C. (1992). *Marine and Petroleum Geology*, 9, 256-264.
- Booth-Rea, G., Ranero, C.R., Grevemeyer, I. y Martínez-Martínez, J.M. (2007). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 8 (10) art. no. Q10005.
- Chester, F.M., Friedman, M. y Logan, J.M. (1985). *Tectonophysics*, 111, 139-146.
- Crespo-Blanc, A., Balanyá, J.C., Expósito I., Luján, M. y Díaz-Azpiroz, M. (2007). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 20 (3-4).
- Galindo-Zaldívar, J., Ruano, P., Jabaloy, A., y López-Chicano, M. (2000). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 331, 811-816.
- García-Dueñas, V. (1995). *Estudios sísmicos de la Corteza Ibérica. ESCI*. Barcelona.
- García-Hernández, M., López-Garrido, A.C., Rivas, P., Sanz de Galdeano, C., y Vera, J.A. (1980). *Geol. Mijnb.*, 59, 155-168.
- Reicherter, K.R. y Peter, G. (2005). *Tectonophysics*, 405, 191-212.
- Roldán, F.J. (1995). *Evolución Neógena de la Cuenca del Guadalquivir. Tesis Doctoral*, Univ. de Granada, 259 p.
- Roldán, F.J., Rodríguez-Fernández, J., Villalobos, M., Lastra, J., Díaz-Pinto, G. y Pérez Rodríguez, A.B. (2012). *Zonas: Subbético, Cuenca del Guadalquivir y Campo de Gibraltar. In GEODE, SIGECO, IGME*. (J. Navas, Ed.).
- Vera, J.A. (2004). *Geología de España. Sociedad Geológica de España-Instituto Geológico y Minero de España*.
- Wildi, W. (1983). *Rev. Géol. Dyn. Géogr. Phys.*, 24, 201-297.
- Žalohar, K.R. y Vrabec, M. (2007). *Journal of Structural Geology*, 29, 1798-1810.